Vol.12, No.2, Summer 2023, pp.1-27 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77881.1259 Open access

# Analysis of Climatic Zones and the Danger of Desertification in Karun Basin under Climate Change Conditions using UNEP Index

**Hossein Behzadi Karimi[a*], Gholam Ali Mozaffari[b], Kamal Omidvar[b], Ahmad Mazidi[c]**

[a] *PhD in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran*
[b] *Professor in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran*
[c] *Associate Professor in Climatology, Yazd of University, Yazd, Iran*

***Received: 26 July 2022 Revised: 28 October 2022 Accepted: 30 November 2022***

## Abstract

The excessive emission of greenhouse gases in recent decades and the ongoing changes in the climate have changed the meteorological parameters and, accordingly, the climatic zones. In this study, the future prospect of climatic zones and the risk of desertification in the watershed of Karun basin was investigated using UNEP index and LARS-WG6 microdirection model and HadGEM2-ES model under the RCPs emission scenarios for three periods 2021-2040, 2041-2060, and 2061-2080. The results pertaining to all three future periods and RCPs release scenarios showed that the long-term average annual precipitation will decrease between 1.9 and 14.6% compared to the base period, but the annual average minimum temperature will be between 1.2 and 3.4 °C, maximum temperature between 1.3 and 3.7 °C and the annual average of evaporation and transpiration will increase between 4.7 and 12.3% compared to the observation period. In the upcoming period and based on the emission scenarios, dry climate (the risk of very severe desertification) and semi-arid climate (the danger of severe desertification) increase 3.5% and 4.4%, respectively, and semi-humid (moderate desertification) and humid (no desertification) and very humid (moisture and wet climate) decrease 4% and 4.7%, respectively. However, semi-humid climate zones (low risk of desertification) with 0.8% will be less severe. Under the pessimistic scenario, the semi-arid climate region will reach its maximum level among the publishing scenarios in the near future with 12.4%. Therefore, this displacement in the boundaries of climatic classification will increase the desertification of Karun basin in the upcoming period.

**Keywords**: Climate Change, Trend, Climate Zoning, UNEP Index, Karun Watershed

* . Corresponding author: Hossein Behzadi Karimi E-mail: h.bkarimi@chmail.ir Tel: + 989052813277

**How to cite this Article:** Behzadi Karimi, H., Mozaffari, G. A., Omidvar, K., & Mazidi, A. (2023). Analysis of climatic zones and the danger of desertification in Karun Basin under climate change conditions using UNEP index. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(2), 1-27.

**DOI: 10.22067/geoeh.2022.77881.1259**

Geography and Environmental Hazards
**Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023**
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77881.1259

**جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۲۷-۱**
**مقاله پژوهشی**

# واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP

حسین بهزادی کریمی[1] – دانش‌آموخته دکترای آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
غلامعلی مظفری – استاد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
کمال امیدوار– استاد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
احمد مزیدی– دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۵/۴ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۸/۶ **تاریخ تصویب:** ۱۴۰۱/۹/۹

## چکیده

انتشار بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های اخیر و تغییرات به وقوع پیوسته در اقلیم، موجب شده که پارامترهای هواشناسی و به‌تبع آن، پهنه‌های اقلیمی دستخوش تغییراتی گردد. در این تحقیق، چشم‌انداز آتی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص UNEP و با به‌کارگیری مدل ریزمقیاس کاهی LARS-WG6 و خروجی مدل HadGEM2-ES، تحت سناریوهای انتشار RCPs برای سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون مَن-کندال، مشخص گردید که در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و در سطح حوضه آبریز کارون، روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار است؛ درحالی‌که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهشی است؛ اما این روند کاهشی، معنی‌دار نیست. مطابق یافته‌های تحقیق در هر سه دوره آتی و بر اساس سناریوهای انتشار

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۰۵۲۸۱۳۲۷۷ Email: h.bkarimi@chmail.ir

**نحوه ارجاع به این مقاله:**

بهزادی کریمی، حسین؛ مظفری، غلامعلی؛ امیدوار، کمال؛ مزیدی، احمد؛ ۱۴۰۲. واکاوی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص UNEP. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۲۷-۱
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77881.1259

RCPs، متوسط بلندمدت بارش سالانه بین ۱/۹ تا ۱٤/٦ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد اما متوسط سالانه دمای حداقل بین ۱/۲ تا ۳/٤ درجه سلسیوس، دمای حداکثر بین ۱/۳ تا ۳/۷ درجه سلسیوس و میانگین سالانه تبخیر و تعرق بین ٤/۷ تا ۱۲/۳ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. در دوره‌های آتی و بر اساس الگوهای واداشت تابشی موردبررسی، وسعت اقلیم خشک (خطر بیابان‌زایی بسیار شدید) و اقلیم نیمه‌خشک (خطر بیابان‌زایی شدید) به ترتیب ۳/۵ و ٤/٤ درصد افزایش و مساحت اقلیم خشک نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی متوسط) و اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به ترتیب ٤ و ٤/۷ درصد کاهش خواهد یافت؛ اما قلمرو آب و هوایی نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی کم) با ۰/۸+ درصد، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. گستره اقلیم نیمه‌خشک در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، با ۱۲/٤ درصد افزایش به بیشترین سطح ممکن در بین سناریوهای انتشار خواهد رسید؛ لذا این جابه‌جایی در مرزهای طبقه‌بندی اقلیمی، باعث تشدید روند بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آتی خواهد شد.

**کلیدواژه‌ها:** تغییر اقلیم، روند، پهنه‌بندی اقلیمی، خطر بیابان‌زایی، شاخص UNEP، حوضه آبریز کارون.

**۱-مقدمه**

اقلیم، وضعیتی کلی از شرایط هوای غالب یک مکان مشخص بر اساس آمار بلندمدت است (بایلی[1]، ۱۹۹۹). تنوع عناصر آب و هوایی در تعیین اقلیم یک ناحیه مؤثر بوده و باعث شکل‌گیری اقلیم‌های متنوع و متفاوت می‌شود (هدایتی دزفولی و کاکاوند، ۱۳۹۱). از مهم‌ترین ویژگی‌های آب و هوایی برای طبقه‌بندی اقلیمی، ضریب خشکی یا ضریب رطوبتی است که شناخت تحول‌های هم‌زمان بارندگی و تبخیر و تعرق و تأثیرهای آن را فراهم می‌کند (طاووسی، ۱۳۹۷). دانشمندان معیارهای متفاوتی را برای تعیین آستانه خشکی ارائه داده‌اند. شاخص زیست اقلیم یونپ[2]، نسبت میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل را به‌عنوان ضریب خشکی در نظر می‌گیرد (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). شناخت ویژگی‌های طبیعی هر منطقه، به‌خصوص آب‌وهوا می‌تواند در امر برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین نقش مهمی ایفا نماید. همچنین وجود توان‌های محیطی، اقتصادی، کشاورزی و صنعتی ازجمله طرح‌های عظیم عمرانی مانند سدسازی و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها و نیز پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی چون سیل و خشکسالی ضرورت شناخت صحیح شرایط جوی و ویژگی‌های آب و هوایی مناطق مختلف و درنهایت پهنه‌بندی اقلیمی را به‌ویژه برای برنامه‌ریزان آشکار ساخته است (گل‌کار حمزیی یزد و همکاران، ۱۳۹۵).

در دهه‌های اخیر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی به‌طور فزاینده‌ای افزایش‌یافته است که با تأثیرگذاری بر روی دمای جو کره زمین، سبب به هم خوردن ترازمندی انرژی در سطح جهانی و گرمایش جهانی و

1 Bailey
2 United Nation Environment Programme

وقوع تغییر اقلیم شده است. تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده در مقیاس جهانی است و به مفهوم تغییر در پارامترهای اقلیمی یک منطقه نسبت به رفتار قابل‌انتظار از اطلاعات مشاهده‌شده آن منطقه در یک افق زمانی بلندمدت است (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۹۳). جهت کسب آگاهی در مورد اثرات تغییر اقلیم به‌طورمعمول از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. از بین مدل‌های اقلیمی مختلف ارائه‌شده، مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)[1] از کاربرد گسترده‌تری برخوردار هستند. این مدل‌ها، سه‌بعدی بوده و قادر به پیش‌بینی تحولات زمانی و مکانی جو می‌باشند (هوردین[2] و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به اینکه توان تفکیک مکانی خروجی‌های این مدل‌ها، بسیار بزرگ است؛ برای قابل‌استفاده کردن این خروجی‌ها، نیاز به استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمائی[3] است. پیش‌بینی‌های اقلیم آینده توسط مدل‌های اقلیمی مبتنی بر این است که در آینده چه مقدار گازهای گلخانه‌ای توسط عوامل انسانی وارد اتمسفر زمین خواهد شد و در پی آن، چه تغییراتی در سیستم اقلیمی کره زمین به وجود خواهد آمد. برای بررسی این تغییرات، سناریوهای مختلفی در ارتباط با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه‌شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)[4] در گزارش پنجم خود در سال ۲۰۱۰، سناریوهای جدیدی تحت عنوان RCP[5] را بر اساس میزان واداشت تابشی ارائه کرد. این سناریوهای پیشنهادی، معرف مسیرهای جدیدی از سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و دارای چهار حالت مختلف شامل RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 هستند (خارین[6] و همکاران، ۲۰۱۳). لذا، انتشار بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای و تغییرات به وقوع پیوسته در اقلیم، می‌تواند باعث افزایش و یا کاهش گستره یک منطقه اقلیمی و درنتیجه جابه‌جایی مناطق آب و هوایی شود و تنش‌هایی را در جوامع گیاهی و جانوری آن مناطق پدید آورد (چن و چن[7]، ۲۰۱۳؛ وانگ و اورلند[8]، ۲۰۰۴).

در خصوص پهنه‌بندی‌های آب و هوایی با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی اقلیمی، مطالعات مختلفی در سطح جهان و ایران انجام‌گرفته است که به چند نمونه از آن اشاره می‌گردد: الیویرو آپارسیدو[9] و همکاران (۲۰۱۶)، به طبقه‌بندی اقلیمی ایالت پارانا در برزیل به کمک روش کوپن، تورنت وایت و کامارگو پرداختند. نتایج نشان داد مناطق به‌صورت سرد و مرطوب، مرطوب و گرم، کم آب، مرطوب و خشک طبقه‌بندی شدند که بیشترین پهنه آب‌وهوا مربوط به مناطق سرد و مرطوب بود. طاووسی (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران پرداخت. نتایج ایشان حاکی از تغییر شرایط آب و

1 Global Circulation Model
2 Hourdin
3 Downscaling
4 Intergovernmental Panel on Climate Change
5 Representative Concentration Pathways
6 Kharin
7 Chen and Chen
8 Wang and Overland
9 Oliveria Aparecido

هوایی نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب و از شرایط آب و هوایی خشک نیمه مرطوب به شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک می‌باشد. شجاع و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایه کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی اقدام کردند. نتایج نشان داد منطقه موردبررسی در هفت گروه اقلیمی طبقه‌بندی شد که پهنه Ac14، اقلیم خشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با ۳۹ درصد و ۹ ایستگاه و پهنه Ec14، اقلیم فراخشک با زمستان سرد و تابستان بسیار گرم با یک ایستگاه به ترتیب بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ناحیه اقلیمی بودند. در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر پهنه‌های اقلیمی، مطالعات لندکی در داخل و خارج از کشور انجام‌شده است. یینگ[1] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های مدل RegCM3 و تحت سناریو A1B، جابجایی‌های احتمالی در مناطق اقلیمی چین (به روش کوپن) در قرن ۲۱ را بررسی کردند و نشان دادند که مناطق اقلیمی چین، جابجایی‌های معناداری را در آینده تجربه خواهند کرد که مهم‌ترین آن‌ها، کاهش شدید مناطق اقلیمی سرد مانند توندرا و کاهش مناطق مرطوب جنب‌حاره‌ای است. انگلبرشت و انگلبرشت[2] (۲۰۱۶) با استفاده از میانگین گروهی از مدل‌های اقلیمی و بر اساس سناریو A2، جابجایی‌های اقلیمی احتمالی قاره آفریقا را برای دهه‌های آینده بررسی نمودند. نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی پیش‌بینی‌شده برای سده ۲۱، جابجایی‌های زیادی را در مناطق اقلیمی آفریقا پدید خواهد آورد که مهم‌ترین آن‌ها گسترش منطقه استپی گرم به‌سوی منطقه استپی سرد و درنتیجه کاهش گستره اقلیمی مناطق بیابانی و استپی سرد در این قاره است. همچنین می‌توان به مطالعات محققین دیگر مانند پیل[3] و همکاران (۲۰۰۷)، دی کاسترو[4] و همکاران (۲۰۰۷)، روبل و کوتک[5] (۲۰۱۰) و چان[6] و همکاران (۲۰۱۶) اشاره نمود. در داخل کشور، بذرافشان دریاسری و همکاران (۱۳۹٤) به مطالعه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان بر اساس خروجی مدل LARS-WG[7] طی سه دوره زمانی آینده و تحت سناریوهای مختلف A2، A1B و B1 پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که استان گلستان در دوره‌های اقلیمی آتی در اثر تغییر اقلیم به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش خواهد رفت. میرموسوی و کیانی (۱۳۹٦) به بررسی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در ایران در سال ۱۹۷۵ و مقایسه آن با خروجی مدل MIROC، برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ و ۲۱۰۰ و تحت سناریوی A1B و A2 پرداختند. طبقه‌بندی‌های حاصل از خروجی مدل، روند رو به رشد اقلیم گروه B که نماینده اقلیم خشک و نیمه‌خشک در طبقه‌بندی کوپن است و کاهش تنوع اقلیمی را نشان می‌دهند. رضیئی (۱۳۹٦) در مطالعه‌ای به بررسی جابجایی مناطق اقلیمی ایران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌بینی‌شده برای سده بیست و یکم با استفاده از روش کوپن–گایگر پرداخت. نتایج

---

1 Ying
2 Engelbrecht and Engelbrecht
3 Peel
4 De Castro
5 Rubel
6 Chan
7 Long Ashton Research Station-Weather Generator

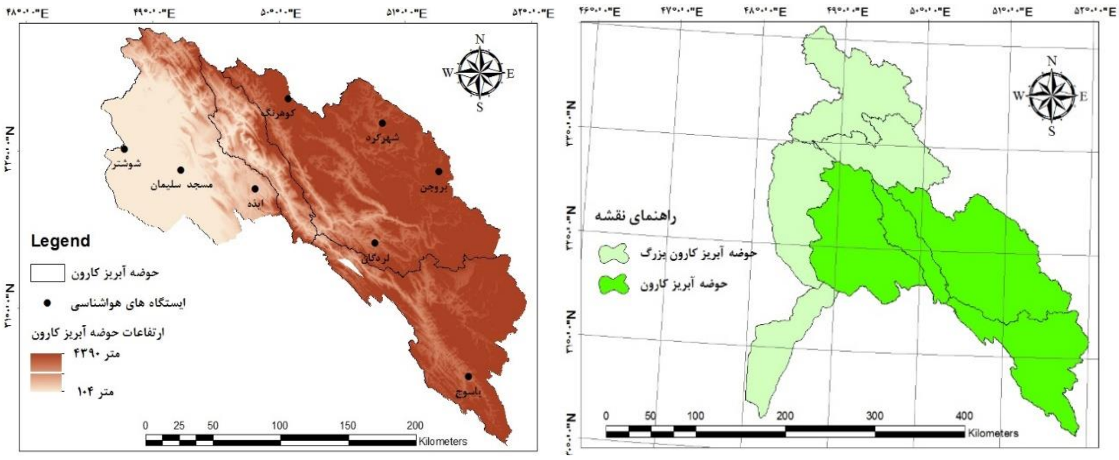
به‌دست‌آمده از سناریوهای مختلف، نشان از گسترش اقلیم بیابانی گرم در ایران مرکزی و گرایش شدید شمال غرب ایران به‌سوی بیابانی شدن دارند. فاخرنسب و همکاران (۱۳۹۹)، به پهنه‌بندی تغییرات دما و بارش در استان کهکیلویه و بویراحمد تا افق زمانی ۲۰۶۱ پرداختند. نتایج نشـــان داد که ازنظر مکانی، بر پهنه‌های با دمای خنک و گرم‌تر در سطح استان افزوده خواهد شد و پهنه مناطق پربارش محدودتر شده و بر پهنه مناطق کم بارش استان افزوده خواهد شد.

ایران از یک‌ســو به دلیل گســتردگی در عرض‌های جغرافیایی مختلف و درنتیجه برخورداری از تنوع اقلیمی و از سوی دیگر، با توجه به قرارگیری آن در کمربند گرم و خشک جهان، این کشور را متأثر از مسئله گرمایش جهانی و تغییر اقلیم قرار داده است؛ بنابراین با توجه به افزایش دما در سطح جهان و رخداد خشکسالی های پیاپی در کشور ایران، این پرسش مطرح است که آیا پیامد این رویدادها به‌صورت افزایش ضریب خشکی آب و هوایی و در نتیجه گسترش بیابان‌زایی در حوضه آبریز کارون نقش داشته است؟ لذا بر پایه این پرسش تلاش شده است تغییرات پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی منطقه موردمطالعه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم با استفاده از شاخص خشکی یونپ (UNEP) بررسی شود.

## ۲-مواد و روش‌ها

### ۲-۱- ویژگی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش تحت عنوان حوضـــه آبریز کارون (شـــامل زیر حوضـــه‌های آبریز کارون بالا، کارون وسط، کارون پایین و خرسان) محدود به مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۰۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. مساحت حوضه آبریز کارون ۳۸۱۰۴ کیلومترمربع بوده که در حدود ۵۷ درصد از سطح حوضه آبریز کارون بزرگ را شامل می‌شود (شکل ۱). با توجه به مساحت حوضه، ۸ ایستگاه به دلیل پراکنش مناسب آن‌ها نسبت به هم و وجود داده‌های تاریخی هواشناسی معتبر و کافی، انتخاب شدند. متغیرهای اقلیمی موردبررسی شامل آمار روزانه پارامترهای بارش، حداقل و حداکثر دما در طول دوره آماری پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) اســـت. جدول (۱)، مشـــخصـــات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های همدید موردمطالعه را نشان می‌دهد.




**شکل ۱-موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های همدید واقع در حوضه آبریز کارون**

**جدول ۱-مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های همدید موردمطالعه**

| نام اختصاری حوضه | نام ایستگاه | طول جغرافیایی | | عرض جغرافیایی | | ارتفاع از سطح دریا (m) | میانگین سالانه دما (°C) | میانگین سالانه بارش (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | دقیقه | درجه | دقیقه | درجه | | | |
| **کارون بالا** | شهرکرد | ٥١ | ٥٠ | ١٧ | ٣٢ | ٢٠٤٨ | ١١/٤ | ٣٣١ |
| **کارون بالا** | بروجن | ١٨ | ٥١ | ٥٩ | ٣١ | ٢٢٦٠ | ١٠/٧ | ٢١٩/٧ |
| **کارون بالا** | کوهرنگ | ٠٦ | ٥٠ | ٢٥ | ٣٢ | ٢٢٨٥ | ٩/٣ | ١٣٢٦/٢ |
| **کارون بالا** | لردگان | ٤٩ | ٥٠ | ٣١ | ٣١ | ١٥٨٠ | ١٥/٣ | ٥١٦/١ |
| **یاسوج (خرسان)** | یاسوج | ٣٤ | ٥١ | ٤١ | ٣٠ | ١٨٣١ | ١٥/٢ | ٧٣٢/٥ |
| **کارون پایین** | شوشتر | ٥٠ | ٤٨ | ٠٣ | ٣٢ | ٦٧ | ٢٦/٣ | ٢٥٨/٤ |
| **کارون پایین** | مسجدسلیمان | ١٧ | ٤٩ | ٥٦ | ٣١ | ٣٢٠ | ٢٥/٣ | ٣٦٥/٥ |
| **کارون پایین** | ایذه | ٥٢ | ٤٩ | ٥٠ | ٣١ | ٨٢٧ | ٢٠/٨ | ٥٦٩/٦ |

هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی چشم‌انداز آتی پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص خشکی یونپ می‌باشد. روش کار بدین‌صورت است که پس از کنترل کیفی داده‌ها و آشکارسازی روند سری سالانه فراسنج های مذکور طی دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) که با استفاده از آزمون روند مَن-کندال انجام گرفت؛ داده‌های اقلیمی موردبررسی با استفاده از مدل ریزمقیاس کاهی LARS-WG6 برای دوره پایه شبیه‌سازی می‌شود و پس از صحت سنجی مدل با کمک معیارهای نکویی برازش (MAE، MSE، RMSE و $R^2$)، داده‌های اقلیمی برای سه دوره زمانی آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) با استفاده از خروجی مدل

HadGEM2-ES[1] که یکی از مدل‌های جفت شده CMIP5[2] است، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تولید شدند. در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی‌شده، میزان تبخیر و تعرق دوره‌های مذکور با کمک معادله هارگریوز–سامانی[3] (H-S) برآورد گردید. در پایان بر مبنای شاخص خشکی یونپ (UNEP)[4]، نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون، طی دوره‌های زمانی آتی و تحت سناریوهای مختلف انتشار در محیط ArcGIS تهیه گردید.

### ۲-۲-مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)

در خصوص مدل‌سازی اقلیمی دوره‌های آینده، روش‌های مختلفی وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها، مدل‌های گردش عمومی (GCM) هستند. یکی از چالش‌های مهم در مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ‌مقیاس بودن مکانی متغیرهای شبیه‌سازی‌شده است؛ بنابراین خروجی‌های حاصل از این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی و حتی حوضه آبخیز قابل‌استفاده نیستند؛ لذا باید خروجی‌های این مدل‌ها، ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس نمایی داده‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو معمولاً به دو روش آماری و دینامیکی صورت می‌گیرد. در این تحقیق، برای ریزمقیاس کاهی مدل‌های گردش عمومی، از مولّد آب و هوایی LARS-WG ابداع‌شده توسط راسکو[5] و همکاران (۱۹۹۱) و سمنوف و بارو[6] (۱۹۹۷) استفاده‌شده است.

### ۲-۳-مدل ریزمقیاس کاهی LARS-WG6

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولّد داده‌های تصادفی آب و هوایی است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، دماهای حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. مبنای مدل LARS-WG برای مدل‌سازی، طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی هست. نسخه ٦ این مدل (LARS-WG6) در سال ۲۰۱۸، جهت ریزمقیاس کاهی داده‌های گزارش پنجم (CIMP5) به‌روز و منتشر گردید که در این پژوهش جهت ریزگردانی از داده‌های خروجی مدل جهانی HadGEM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) استفاده شد. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن‌ها، مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند؛ سپس به‌منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه، مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود؛ سپس این خروجی‌ها، به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی

---

1 Hadley centre global environment model- version 2
2 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
3 Hargreaves-Samani
4 United Nation Environment Programme
5 Racsko
6 Semenov and Barrow

داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی، نشان می‌دهد که می‌توان از مدل Lars-WG به‌منظور ریزمقیاس کاهی (در مقیاس ایستگاهی) خروجی مدل‌های اقلیمی GCM و برآورد تغییرات فراسنج های دما و بارش برای دوره آتی استفاده کرد. (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱).

### ۲-٤- معیارهای ارزیابی کارایی مدل

در این پژوهش، جهت بررسی عملکرد مدل LARS-WG6 از شاخص‌های ضریب تعیین[۱] ($R^2$)، میانگین مربعات خطا[۲] (MSE)، مجذور میانگین مربعات خطا[۳] (RMSE) و میانگین مطلق خطا[٤] (MAE) استفاده شد؛ که روابط مربوط به آن‌ها در ادامه آورده شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^o \times Q_i^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} Q_i^{o2} \times Q_i^{m2}}} \qquad (۱)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i^o - Q_i^m\right)^2}{n} \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i^0 - Q_i^m)^2}{n}} \qquad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Q_i^o - Q_i^m\right|}{n} \qquad (٤)$$

در این روابط، $Q_i^o$ داده‌های مشاهداتی، $Q_i^m$ داده‌های شبیه‌سازی‌شده و $n$ تعداد داده‌هاست.

### ۲-۵- تحلیل روند با استفاده از آزمون ناپارامتری مَن-کندال

آزمون ناپارامتری مَن-کندال (MK) برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورداستفاده قرار می‌گیرد (ژانگ[۵] و همکاران، ۲۰۰۰). در این آزمون، H0 نشان‌دهنده عدم وجود روند و H1 وجود روند را در سری زمانی داده‌ها نشان می‌دهد (گوچیچ و تراژکوویچ[٦]، ۲۰۱۳). آماره استاندارد Z در آزمون مَن-کندال از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند و برای اندازه‌گیری روند استفاده می‌شود. در آزمون MK، مقدار مثبت Z، نشان‌دهنده روند صعودی است؛ درحالی‌که

1 Coefficient of Determination
2 Mean Squared Error
3 Root Mean Square Error
4 Mean Absolute Error
5 Zhang
6 Gocic and Trajkovic

مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند نزولی در سری زمانی است. باید توجه داشت که در این آزمون عدم پذیرش H0 به این معنا نیست که روند در سری زمانی وجود ندارد؛ در حقیقت نشان می‌دهد که شواهد موجود برای نتیجه‌گیری عدم وجود روند در سری زمانی کافی نیست. در این پژوهش، برای انجام آزمون‌های روندیابی از نرم‌افزار MAKESENS2.0 تحت نرم‌افزار Excel که توسط سالمی[1] و همکاران (۲۰۰۲) به‌منظور کشف و برآورد روند در سری‌های زمانی بارندگی و آلودگی جو در مؤسسه هواشناسی فنلاند توسعه‌یافته است؛ استفاده گردید.

### ۲-۶- شاخص خشکی یونپ (UNEP)

شاخص خشکی برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد با نام مخفف یونپ (UNEP) نسبت میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل را به‌عنوان ضریب خشکی در نظر می‌گیرد (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۹). ازآنجایی‌که دمای هوا تعیین‌کننده تبخیر و تعرق پتانسیل است؛ بنابراین رابطه یونپ بر مبنای مجموع بارندگی سالانه نسبت به میانگین تبخیر و تعرق، بر اساس رابطه زیر بیان‌شده است.

$$DI = \frac{P}{ETP} \qquad (۵)$$

در این معادله، DI شاخص خشکی یونپ، P میانگین بارش سالانه به میلی‌متر و ETP میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب میلی‌متر است.

شرایط اقلیمی بر اساس شاخص خشکی یونپ از فراخشک تا مرطوب و بسیار مرطوب طبقه‌بندی می‌گردد (جدول ۲).

**جدول ۲-گروه‌های اصلی طبقه‌بندی اقلیمی یونپ (UNEP)، ویژگی‌ها و معیارهای شناسایی آن‌ها**

| نوع اقلیم | ویژگی | معیار شناسایی | خطر بیابان‌زایی |
|---|---|---|---|
| VD | فرا خشک | ۰/۰۵ > DI | بیابان واقعی |
| D | خشک | ۰/۲ > DI > ۰/۰۵ | بسیار شدید |
| SD | نیمه‌خشک | ۰/۵ > DI > ۰/۲ | شدید |
| DSW | خشک نیمه مرطوب | ۰/٦٥ > DI > ۰/۵ | متوسط |
| SW | نیمه مرطوب | ۰/۷۵ > DI > ۰/٦٥ | کم |
| VW | مرطوب و بسیار مرطوب | ۰/۸۵ > DI > ۰/۷۵ | ندارد |

1 Salmi

### ۲-۷- روش هارگریوز–سامانی (H-S)

معادله هارگریوز–سامانی یکی از روش‌های شناخته‌شده و معتبر جهت محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق است. در این روش، لازم است برای دوره موردنیاز، دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما (TR) را در دوره موردنظر داشته باشیم. سپس با داشتن تابش خورشیدی (Ra)، مقدار تبخیر و تعرق به‌صورت معادله زیر قابل‌محاسبه است (هارگریوز–سامانی، ۱۹۸۵).

$$ETO = 0.0023R_a(T + 17.8)(TR^{0.5}) \quad (٦)$$

که در آن: TR تفاوت حداکثر و حداقل دما برحسب درجه سلسیوس است.

ETO همان واحدی را خواهد داشت که برای Ra انتخاب خواهیم کرد؛ که می‌توان آن را برحسب میلی‌متر در روز از جدول ویژه به دست آورد (علیزاده، ۱۳۸۷). مقادیر Ra برای منطقه موردمطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

**جدول ۳-مقادیر تابش خورشیدی (Ra) برحسب میلی‌متر در روز برای منطقه موردمطالعه**

| Month | Ra | Month | Ra |
|---|---|---|---|
| january | ۷/٦ | july | ۱۷/۸ |
| february | ۹/٦ | august | ۱٦/۱ |
| march | ۱۲/۷ | september | ۱۳/٥ |
| april | ۱٥/۳ | october | ۱۰/۷ |
| may | ۱۷/٤ | november | ۸/۲ |
| june | ۱۸/۲ | december | ۷ |

## ۳-نتایج و بحث

### ۳-۱-تحلیل روند سالانه فراسنج های اقلیمی در ایستگاه‌های موردمطالعه

به‌منظور آشکارسازی روند در سری‌های مشاهداتی حداقل دما، حداکثر دما، بارش و تبخیر و تعرق سالانه، آزمون تعیین روند مَن–کندال به اجرا درآمد. این آزمون برای سری زمانی ۲۰ ساله دوره پایه (۲۰۱٥-۱۹۹٦) برای ایستگاه‌های همدیدی یاسوج، ایذه، بروجن، شهرکرد، شوشتر، کوهرنگ، لردگان و مسجدسلیمان صورت گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول (٤) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند دمای حداقل سالانه در تمامی ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون به‌جز ایستگاه بروجن (۰/۰۳-)، افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه ایذه در سطح ۰/۰٥ و در ایستگاه‌های شوشتر و مسجدسلیمان در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است. دمای حداکثر در همه ایستگاه‌های موردمطالعه، دارای روند افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه‌های بروجن و شوشتر در سطح ۰/۰٥ و در ایستگاه‌های ایذه و مسجدسلیمان در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. در دوره بیست ساله

پایه، روند سالانه سری مشاهداتی بارش در ایستگاه‌های یاسوج، بروجن و شهرکرد افزایشی و در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر، کوهرنگ و مسجدسلیمان دارای روند کاهشی و در ایستگاه لردگان، بدون روند می‌باشد؛ اما روند کاهشی و افزایشی بارش در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها، معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین روند تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاه‌های واقع در منطقه موردمطالعه افزایشی است و این روند افزایشی در ایستگاه‌های شهرکرد، مسجدسلیمان، لردگان و کوهرنگ در سطح ۰/۰۵ و برای ایستگاه‌های ایذه و بروجن در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شده است. در سطح حوضه آبریز روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار می‌باشد؛ درحالی‌که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهشی است اما این روند کاهشی، معنی‌دار نمی‌باشد.

**جدول ٤-نتایج حاصل از تحلیل روند سالانه پارامترهای اقلیمی موردمطالعه در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶)**

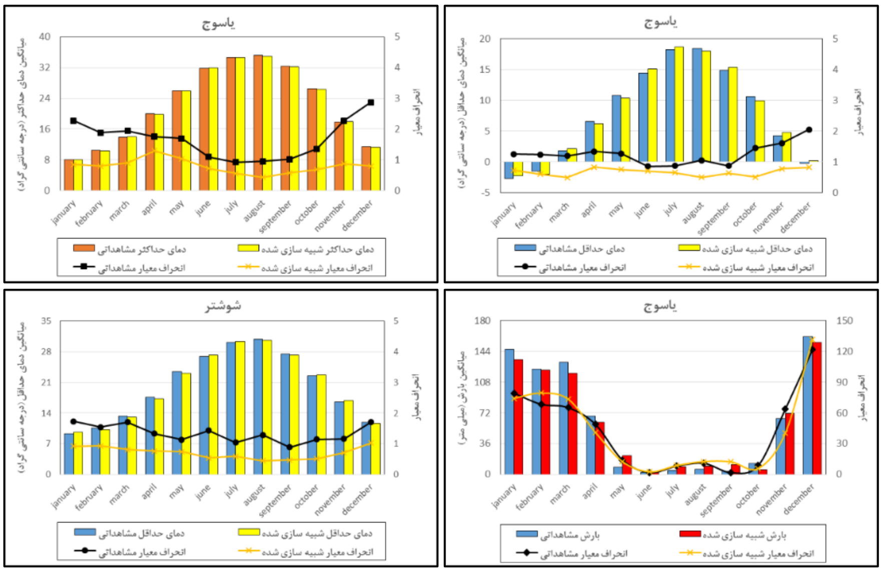
| پارامتر | آماره | ایستگاه همدید | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | یاسوج | ایذه | بروجن | شهرکرد |
| دمای حداقل (°C) | من کندال | ۰/۲۳ | ۲/٤۳* | -۰/۰۳ | ۰/۵۵ |
| | روند | افزایشی | افزایشی | کاهشی | افزایشی |
| دمای حداکثر (°C) | من کندال | ۰/۷۵ | ۲/۹۵** | ۲/۱۷* | ۱/۲۰ |
| | روند | افزایشی | افزایشی | افزایشی | افزایشی |
| بارش (mm) | من کندال | ۰/۷۲ | -۰/۵۵ | ۰/۲۹ | ۰/۰۳ |
| | روند | افزایشی | کاهشی | افزایشی | افزایشی |
| تبخیر و تعرق (mm) | من کندال | ۱/۲۰ | ۲/٦۹** | ۲/۸۹** | **۲/۰٤*** |
| | روند | افزایشی | افزایشی | افزایشی | افزایشی |
| **پارامتر** | **آماره** | **ایستگاه همدید** | | | |
| | | **شوشتر** | **کوهرنگ** | **لردگان** | **مسجدسلیمان** |
| دمای حداقل (°C) | من کندال | ۳/۲۱** | ۰/۵۵ | ۰/٦۸ | **۳/۵٤**** |
| | روند | افزایشی | افزایشی | افزایشی | افزایشی |
| دمای حداکثر (°C) | من کندال | ۲/٤۳* | ۱/۵۹ | ۱/٤٦ | **۲/۸۲**** |
| | روند | افزایشی | افزایشی | افزایشی | افزایشی |
| بارش (mm) | من کندال | -۱/۰۱ | -۰/۷۵ | ۰/۰۰ | -۰/٤۲ |
| | روند | کاهشی | کاهشی | بدون روند | کاهشی |
| تبخیر و تعرق (mm) | من کندال | ۱/٤۰ | ۲/۵٦* | ۲/۵۰* | **۲/۱۱*** |
| | روند | افزایشی | افزایشی | افزایشی | افزایشی |

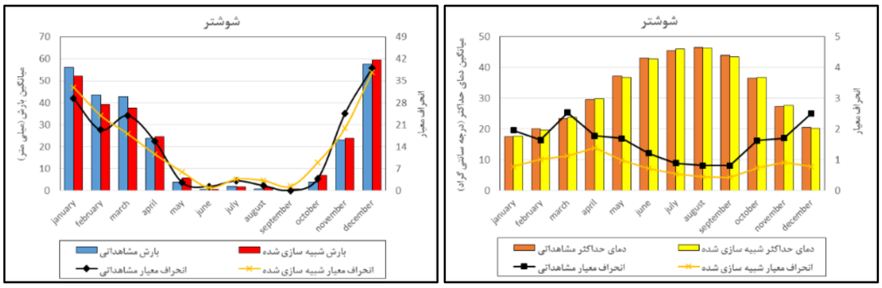
| نام ایستگاه | آماره | پارامتر | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | دمای حداقل (°C) | دمای حداکثر (°C) | بارش (mm) | **تبخیر و تعرق (mm)** |
| حوضه آبریز کارون | من کندال | ۱/۳۳ | ۱/۹۸* | -۰/۲۹ | **۲/۱۸*** |
| | روند | افزایشی | افزایشی | کاهشی | افزایشی |

روند معنی‌دار به‌صورت ارقام پررنگ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد به ترتیب با * و ** مشخص‌شده‌اند.

### ۳-۲-نتایج ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG6 در شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای اقلیمی

به‌منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل LARS-WG6، ابتدا مدل برای دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۶ اجرا گردید؛ سپس خروجی‌های مدل که شامل میانگین ماهانه دمای حداقل، حداکثر و بارش و انحراف معیار آن‌ها می‌باشد با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. شکل ۲، مقایسه میانگین و انحراف معیار دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز کارون (ایستگاه‌های یاسوج و شوشتر) را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصله، میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده و همچنین انحراف معیار دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش به هم نزدیک بوده و اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند که حاکی از عملکرد مناسب مدل LARS-WG6 جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مذکور در منطقه موردمطالعه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تطابق و کمترین انحراف معیار مربوط به ماه‌های گرم و کم بارش است؛ به‌طوری‌که با افزایش تغییرات بارش در ماه‌های سرد سال، دقت مدل در شبیه‌سازی کاهش می‌یابد.






**شکل ۲-مقایسه میانگین و انحراف معیار دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز کارون**

جهت اطمینان از صحت سنجی مدل، از شاخص‌های ارزیابی (MAE، MSE، RMSE و $R^2$) نیز استفاده شد جدول (۵). نتایج حاصل نشان داد که مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های مذکور در همه ایستگاه‌های موردمطالعه، دقت زیادی دارد. مقدار ضریب تعیین در پارامترهای حداقل و حداکثر دما در همه ایستگاه‌ها، بین ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ و برای بارش نیز از ۰/۸۷ در ایستگاه‌های یاسوج و شوشتر تا ۰/۹۶ در ایستگاه شهرکرد متغیر می‌باشد؛ بنابراین، مدل LARS-WG6، در شبیه‌سازی داده‌های دما از دقت مناسب‌تری نسبت به شبیه‌سازی داده‌های بارش برخوردار است.

**جدول ۵-نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG6 با استفاده از سنجه‌های ارزیابی**

| ایستگاه‌های هواشناسی | نوع پارامتر | شاخص | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | MAE | MSE | RMSE | $R^2$ |
| یاسوج | دمای حداقل | ۰/۰۵٤ | ۰/۰۰٤ | ۰/۰٦٦ | ۰/۹۹ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱٦۷ | ۰/۰٤۳ | ۰/۲۰۷ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۲/۱۱۲ | ۸/۰٦۰ | ۲/۸۳۹ | ۰/۸۷ |
| لردگان | دمای حداقل | ۰/۱٤۷ | ۰/۰۳۱ | ۰/۱۷٥ | ۰/۹۸ |
| | دمای حداکثر | ۰/۰٦۷ | ۰/۰۰٦ | ۰/۰۷۹ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۰/۷۰۳ | ۰/۸٤۸ | ۰/۹۲۱ | ۰/۸۸ |
| شهرکرد | دمای حداقل | ۰/۱۳۱ | ۰/۰۲۳ | ۰/۱٥۲ | ۰/۹۸ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱۳٤ | ۰/۰۲٥ | ۰/۱٥۸ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۰/٤۰۸ | ۰/۳۱٤ | ۰/٥٦۰ | ۰/۹٦ |
| بروجن | دمای حداقل | ۰/۱۰۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۳٥ | ۰/۹۸ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱٦٤ | ۰/۰۳۹ | ۰/۱۹۷ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۰/٤۸۸ | ۰/۳٦٤ | ۰/٦۰٤ | ۰/۹۱ |
| کوهرنگ | دمای حداقل | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۱۷ | ۰/۱۳۲ | ۰/۹۸ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱۹٥ | ۰/۰٥٥ | ۰/۲۳٥ | ۰/۹۹ |

| ایستگاه‌های هواشناسی | نوع پارامتر | شاخص | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | MAE | MSE | RMSE | $R^2$ |
| | بارش | ۱/٦٧٤ | ٤/٢٣٧ | ۲/۰٥۸ | ۰/۹٥ |
| مسجدسلیمان | دمای حداقل | ۰/۰۷۱ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۸٤ | ۰/۹۹ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱۱٦ | ۰/۰۱۹ | ۰/۱۳٦ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۰/٥٤۳ | ۰/٤٦۷ | ۰/٦۸۳ | ۰/۹۲ |
| ایذه | دمای حداقل | ۰/۰۷٤ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۹۳ | ۰/۹۹ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱٥٤ | ۰/۰۳٥ | ۰/۱۸۸ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۱/۰۰۲ | ۱/۳۳٥ | ۱/۱٥٥ | ۰/۹۱ |
| شوشتر | دمای حداقل | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۱۱ | ۰/۱۰۷ | ۰/۹۹ |
| | دمای حداکثر | ۰/۱۲۰ | ۰/۰۲۱ | ۰/۱٤٥ | ۰/۹۹ |
| | بارش | ۰/۸۳۸ | ۰/۹۳۸ | ۰/۹٦۸ | ۰/۸۷ |

### ۳-۳-پیش‌نگری تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آتی و تحت سناریوهای انتشار RCPs

جدول (٦)، تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده نزدیک (۲۰٤۰-۲۰۲۱) را نشان می‌دهد. مطابق نتایج حاصله، میزان دما بر اساس هر سه سناریوی واداشت تابشی نسبت به دوره مشاهداتی افزایش‌یافته است؛ به‌طوری‌که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت الگوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حدلقل به ترتیب برابربا ۱/۳، ۱/۲ و ۱/٤ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/٤، ۱/٦ و ۱/٦ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. ازلحاظ ایستگاهی، بیشینه نابهنجاری دمای حداقل، تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) در ایستگاه لردگان و نیز بر اساس سناریوی بدبینانه (RCP8.5) در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و یاسوج به مقدار ۱/٥ °C مشاهده می‌شود. همچنین، بیشینه نابهنجاری دمای حداکثر به میزان ۱/۹ °C، تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و مسجدسلیمان رخ خواهد داد. در این دوره، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ٥/٦، ٦/۱ و ۳/۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد. بیشترین درصد کاهش بارندگی در ایستگاه مسجدسلیمان و تحت سناریو RCP4.5 به مقدار ۲٥/٦ درصد و بیشترین درصد افزایش بارش، تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های بروجن و لردگان برابر با ۲۹/۳ و ۲۹/۱ درصد مشاهده می‌شود. همچنین مقدار افزایش تبخیر و تعرق سالانه برای سناریوهای خوش‌بینانه، حد وسط و بدبینانه به ترتیب ٥/۱، ٦/۲ و ٥/۸ درصد نسبت به دوره پایه خواهد بود. بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه به ترتیب مربوط

به ایستگاه‌های بروجن و شهرکرد است؛ به‌طوری‌که تحت سناریوی انتشار RCP4.5، مقدار تبخیر و تعرق ۷/۱ و ٦/٨ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت.

**جدول ٦-تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه**

| ایستگاه | | ایذه | بروجن | شهرکرد | شوشتر | کوهرنگ | لردگان | مسجد سلیمان | یاسوج | حوضه آبریز کارون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین بارش-دوره پایه | | ٥٦٩/٦ | ٢١٩/٧ | ٣٣١ | ٢٥٨/٤ | ١٣٢٦/٢ | ٥١٦/١ | ٣٦٥/٥ | ٧٣٢/٥ | ٥٣٩/٩ |
| درصد تغییرات بارش (۲۰۲۱-۲۰۴۰) | RCP2.6 | ٢/٣ | -٦/٨ | -٦/٣ | -٣/١ | -٥/٢ | -٨/٨ | -٣/٩ | -١٠/٩ | -٥/٦ |
| | RCP4.5 | -١٧/٤ | ١٢/٤ | -٨/٥ | ٢/٨ | -١٠/٢ | ١١/١ | -٢٥/٦ | ٠/١ | -٦/١ |
| | RCP8.5 | -٠/١ | ٢٩/٣ | -٢١/٢ | ١٨/٧ | -١٧/٥ | ٢٩/١ | ٤/٥ | -١٨/٧ | -٣/٧ |
| میانگین دمای حداقل-دوره پایه | | ١٣/٧ | ٢/٩ | ٣ | ٢٠ | ٢/٥ | ٧/١ | ١٩/١ | ٨ | ٩/٥ |
| تغییرات دمای حداقل (۲۰۲۱-۲۰۴۰) | RCP2.6 | ١/٢ | ١/١ | ١/١ | ١/١ | ١/٤ | ١/٥ | ١/٢ | ١/٤ | ١/٣ |
| | RCP4.5 | ١/٣ | ١/٢ | ١/١ | ١/٢ | ١/٢ | ١/٣ | ١/١ | ١/٣ | ١/٢ |
| | RCP8.5 | ١/٥ | ١/٢ | ١/٢ | ١/٥ | ١/٣ | ١/٢ | ١/٣ | ١/٥ | ١/٤ |
| میانگین دمای حداکثر-دوره پایه | | ٢٨ | ١٨/٥ | ١٩/٩ | ٣٢/٥ | ١٦/١ | ٢٣/٥ | ٣١/٥ | ٢٢/٣ | ٢٤/١ |
| تغییرات دمای حداکثر (۲۰۲۱-۲۰۴۰) | RCP2.6 | ١/٥ | ١/٤ | ١/٤ | ١/٥ | ١/٤ | ١/٤ | ١/٦ | ١/٤ | ١/٤ |
| | RCP4.5 | ١/٩ | ١/٦ | ١/٦ | ١/٩ | ١/٥ | ١/٣ | ١/٩ | ١/٦ | ١/٦ |
| | RCP8.5 | ١/٨ | ١/٦ | ١/٦ | ١/٨ | ١/٦ | ١/٤ | ١/٨ | ١/٧ | ١/٦ |
| میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه | | ١٧٦٦/٥ | ١٣٧٣/٤ | ١٤٧٥/٣ | ١٨٨١/٥ | ١٢٥٤/٥ | ١٥٩٦/١ | ١٨٢٩/٧ | ١٤٥٩/٤ | ١٥٧٩/٦ |
| درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰۲۱-۲۰۴۰) | RCP2.6 | ٤/٩ | ٦/٣ | ٥/٩ | ٥/٣ | ٥/٧ | ٤/٢ | ٤/٨ | ٤/٤ | ٥/١ |
| | RCP4.5 | ٥/٩ | ٧/١ | ٦/٨ | ٦/٧ | ٦/٦ | ٤/٥ | ٦/٩ | ٥/٤ | ٦/٢ |
| | RCP8.5 | ٥/٣ | ٧/١ | ٦/٧ | ٥/٤ | ٦/٥ | ٤/٧ | ٥/٩ | ٥/٦ | ٥/٨ |

جدول (۷)، تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده میانه (۲۰٦۰-۲۰٤۱) را نشان می‌دهد. میزان دما بر اساس هر سه الگوی واداشت تابشی نسبت به دوره مشاهداتی، افزایش خواهد یافت؛ به‌طوری‌که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حدلقل به ترتیب برابربا ۱/٤، ۲ و ۲/٦ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/٤، ۲/۲ و ۲/۸ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشینه نابهنجاری دمای حداقل بر اساس سناریو RCP8.5 در دو ایستگاه ایذه و یاسوج (۲/۸ °C) مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه نابهنجاری دمای حداکثر، تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های ایذه، شوشتر و مسجدسلیمان (۳/۱ °C) رخ می‌دهد. در این دوره، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر

با ۸/۸، ۱۱/۹ و ۷/۸ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد کاهش بارندگی در ایستگاه مسجدسلیمان و تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) به مقدار ۲۸/۱ درصد رخ خواهد داد. مقدار تبخیر و تعرق سالانه نیز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که به‌طور متوسط این افزایش برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۴/۹، ۸/۱ و ۹/۵ درصد خواهد بود. بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه در این دوره مربوط به ایستگاه بروجن است؛ به‌گونه‌ای که تحت سناریو RCP8.5، مقدار تبخیر و تعرق، ۱۰/۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت.

**جدول ۷-تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده میانه و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه**

| ایستگاه | | ایذه | بروجن | شهرکرد | شوشتر | کوهرنگ | لردگان | مسجد سلیمان | یاسوج | حوضه آبریز کارون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین بارش-دوره پایه | | ۵۶۹/۶ | ۲۱۹/۷ | ۳۳۱ | ۲۵۸/۴ | ۱۳۲۶/۲ | ۵۱۶/۱ | ۳۶۵/۵ | ۷۳۲/۵ | ۵۳۹/۹ |
| درصد تغییرات بارش (۲۰۴۱-۲۰۶۰) | RCP2.6 | ۱/۹ | -۱۳/۱ | -۶/۶ | -۱۷/۹ | -۷/۷ | -۱۵/۸ | ۴/۷ | -۱۷/۱ | -۸/۸ |
| | RCP4.5 | -۱۵/۶ | -۷/۶ | -۱۱/۴ | -۱۶/۶ | -۱۱/۴ | -۹/۲ | -۲۸/۱ | -۳/۸ | -۱۱/۹ |
| | RCP8.5 | -۴/۳ | -۶/۷ | -۵/۸ | -۱۸ | -۶ | -۱۰ | -۷/۴ | -۹/۸ | -۷/۸ |
| میانگین دمای حداقل-دوره پایه | | ۱۳/۷ | ۲/۹ | ۳ | ۲۰ | ۲/۵ | ۷/۱ | ۱۹/۱ | ۸ | ۹/۵ |
| تغییرات دمای حداقل (۲۰۴۱-۲۰۶۰) | RCP2.6 | ۱/۳ | ۱/۷ | ۱/۶ | ۱/۳ | ۱/۲ | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۳ | ۱/۴ |
| | RCP4.5 | ۲/۱ | ۲ | ۱/۹ | ۱/۶ | ۲ | ۲ | ۱/۶ | ۲/۲ | ۲ |
| | RCP8.5 | ۲/۸ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۲/۴ | ۲/۵ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۲/۸ | ۲/۶ |
| میانگین دمای حداکثر-دوره پایه | | ۲۸ | ۱۸/۵ | ۱۹/۹ | ۳۲/۵ | ۱۶/۱ | ۲۳/۵ | ۳۱/۵ | ۲۲/۳ | ۲۴/۱ |
| تغییرات دمای حداکثر (۲۰۴۱-۲۰۶۰) | RCP2.6 | ۱/۶ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۱/۷ | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۱/۴ |
| | RCP4.5 | ۲/۴ | ۲/۲ | ۲/۲ | ۲/۴ | ۲/۲ | ۲/۲ | ۲/۴ | ۲/۳ | ۲/۲ |
| | RCP8.5 | ۳/۱ | ۲/۸ | ۲/۸ | ۳/۱ | ۲/۷ | ۲/۴ | ۳/۱ | ۳ | ۲/۸ |
| میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه | | ۱۷۶۶/۵ | ۱۳۷۳/۴ | ۱۴۷۵/۳ | ۱۸۸۱/۵ | ۱۲۵۴/۵ | ۱۵۹۶/۱ | ۱۸۲۹/۷ | ۱۴۵۹/۴ | ۱۵۷۹/۶ |
| درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰۴۱-۲۰۶۰) | RCP2.6 | ۴/۵ | ۵/۱ | ۵ | ۵ | ۶ | ۴/۶ | ۴/۴ | ۴/۸ | ۴/۹ |
| | RCP4.5 | ۷/۱ | ۹/۱ | ۸/۷ | ۸/۵ | ۸/۹ | ۷/۲ | ۸/۱ | ۷/۴ | ۸/۱ |
| | RCP8.5 | ۹ | ۱۰/۷ | ۱۰/۳ | ۹/۶ | ۱۰/۶ | ۷/۵ | ۹/۶ | ۹/۵ | ۹/۵ |

میانگین تغییرات بلندمدت سالانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۶۱) در جدول (۸) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان دما بر اساس هر سه سناریوی انتشار نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. به‌طوری‌که در سطح حوضه آبریز کارون و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، میانگین تغییرات دمای حداقل به ترتیب برابر با ۱/۲، ۲/۳ و ۳/٤ و میانگین تغییرات دمای حداکثر برابر با ۱/۳، ۲/۸ و ۳/۷ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. ازلحاظ ایستگاهی، بیشینه

نابهنجاری دمای حداقل، بر اساس الگوی واداشتی حد بالا (RCP8.5) در ایستگاه‌های ایذه و یاسوج (به ترتیب برابر با ۳/۷ و ۳/٦ درجه سلسیوس) مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه نابهنجاری دمای حداکثر تحت سناریو RCP8.5 در ایستگاه‌های شوشتر و مسجدسلیمان واقع در غرب حوضه (برابر با ٤/۱ درجه سلسیوس) رخ می‌دهد. در دوره آینده دور، متوسط تغییرات بارندگی سالانه در سطح حوضه و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۱/۹، ١٤/٦ و ۱۰/٦ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش بارندگی در ایستگاه مسجدسلیمان، تحت سناریو RCP4.5 به مقدار ۳۵/۸ درصد مشاهده می‌شود. همچنین، مقدار تبخیر و تعرق سالانه در هر سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که به‌طور متوسط این افزایش برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ٤/۷، ۱۰/۲ و ۱۲/۳ درصد خواهد بود. ازنظر ایستگاهی، بیشترین درصد تغییرات تبخیر و تعرق سالانه مربوط به ایستگاه بروجن است؛ به‌طوری‌که تحت سناریوی حد بالا (RCP8.5) مقدار تبخیر و تعرق، ۱۳/۹ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. با توجه به یافته‌های حاصل از تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی موردمطالعه در دوره‌های آینده دور می‌توان نتیجه گرفت که نواحی سردسیر و کوهستانی شمال و شرق حوضه آبریز کارون بیش از دیگر مناطق آن متأثر از تغییر اقلیم آینده خواهد بود.

**جدول ۸-تغییرات بلندمدت سالانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره آینده دور و تحت سناریوهای RCPs نسبت به دوره پایه**

| ایستگاه | | ایذه | بروجن | شهرکرد | شوشتر | کوهرنگ | لردگان | مسجد سلیمان | یاسوج | حوضه آبریز کارون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین بارش-دوره پایه | | ٥٦۹/٦ | ۲۱۹/۷ | ۳۳۱ | ۲٥۸/٤ | ۱۳۲٦/۲ | ٥۱٦/۱ | ۳٦٥/٥ | ۷۳۲/٥ | ٥۳۹/۹ |
| درصد تغییرات بارش (۲۰٦۱-۲۰۸۰) | RCP2.6 | -۲/۹ | ۲/۷ | -۲/٥ | ۱/٦ | ۰/٥ | ۱/٥ | -۱۰ | -٥/۹ | -۱/۹ |
| | RCP4.5 | -۲۱/۷ | -٤/٦ | -۸/۷ | -۲٤ | -۱۲/٤ | -٥/٤ | -۳٥/۸ | -۱۱/٤ | -١٤/٦ |
| | RCP8.5 | -۲۳/۷ | -۸/۷ | -۳/۳ | -۲٤/۲ | -۳/۷ | -۱۲/۱ | -۳۰/۳ | -۱ | -۱۰/٦ |
| میانگین دمای حداقل-دوره پایه | | ۱۳/۷ | ۲/۹ | ۳ | ۲۰ | ۲/٥ | ۷/۱ | ۱۹/۱ | ۸ | ۹/٥ |
| تغییرات دمای حداقل (۲۰٦۱-۲۰۸۰) | RCP2.6 | ۱/۲ | ۱/۳ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۱/۲ | ۱/٤ | ۰/۹ | ۱/۳ | ۱/۲ |
| | RCP4.5 | ۲/۳ | ۲/٦ | ۲/٥ | ۱/٦ | ۲/٤ | ۲/٤ | ۱/۸ | ۲/٤ | ۲/۳ |
| | RCP8.5 | ۳/۷ | ۳/۳ | ۳/۳ | ۱/۳ | ۳/٤ | ۳/۳ | ۳ | ۳/٦ | ۳/٤ |
| میانگین دمای حداکثر-دوره پایه | | ۲۸ | ۱۸/٥ | ۱۹/۹ | ۳۲/٥ | ۱٦/۱ | ۲۳/٥ | ۳۱/٥ | ۲۲/۳ | ۲٤/۱ |
| تغییرات دمای حداکثر (۲۰٦۱-۲۰۸۰) | RCP2.6 | ۱/٤ | ۱/۲ | ۱/۲ | ۱/٥ | ۱/۲ | ۱/۳ | ۱/٤ | ۱/۳ | ۱/۳ |
| | RCP4.5 | ۳/۱ | ۲/۸ | ۲/۸ | ۳/۱ | ۲/۷ | ۲/٦ | ۳/۱ | ۲/۸ | ۲/۸ |
| | RCP8.5 | ٤ | ۳/۷ | ۳/۷ | ٤/۱ | ۳/٥ | ۳/۳ | ٤/۱ | ۳/۸ | ۳/۷ |
| میانگین تبخیر و تعرق-دوره پایه | | ۱۷٦٦/٥ | ۱۳۷۳/٤ | ۱٤۷٥/۳ | ۱۸۸۱/٥ | ۱۲٥٤/٥ | ۱٥۹٦/۱ | ۱۸۲۹/۷ | ۱٤٥۹/٤ | ۱٥۷۹/٦ |
| درصد تغییرات تبخیر و تعرق (۲۰٦۱-۲۰۸۰) | RCP2.6 | ٤/۳ | ٤/۹ | ٤/۷ | ٥/٦ | ٥ | ٤/۱ | ٤/۸ | ۳/۸ | ٤/۷ |
| | RCP4.5 | ۹/٥ | ۱۰/۸ | ۱۰/٤ | ۱۱/۳ | ۱۱/۱ | ۸/٤ | ۱۰/۹ | ۹/٥ | ۱۰/۲ |
| | RCP8.5 | ۱۱/۱ | ۱۳/۹ | ۱۳/۳ | ۱۲/٦ | ۱۳/٤ | ۱۰/۳ | ۱۲/٤ | ۱۱/٥ | ۱۲/۳ |

### ۳-٤- طبقه‌بندی و پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹٦)

جدول ۹، نوع اقلیم و خطر بیابان‌زایی هر یک از ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون را بر اساس شاخص آب‌وهوایی یونپ در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹٦) نشان می‌دهد. از میان هفت نوع طبقه آب و هوایی بر پایه شاخص مذکور، چهار نوع اقلیم در محدوده حوضه آبریز کارون وجود دارد. براین اساس، ایستگاه‌های بروجن، مسجدسلیمان و شوشتر با مقدار کمتر از ۰/۲ در طبقه اقلیمی خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و ایستگاه‌های لردگان، شهرکرد و ایذه با مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۵ در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید قرار می‌گیرند. یاسوج با مقدار ضریب خشکی بین ۰/۵ تا ۰/٦٥ از اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط و ایستگاه کوهرنگ با مقدار ضریب خشکی بیشتر از ۰/۷۵ از اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) برخوردار هستند.

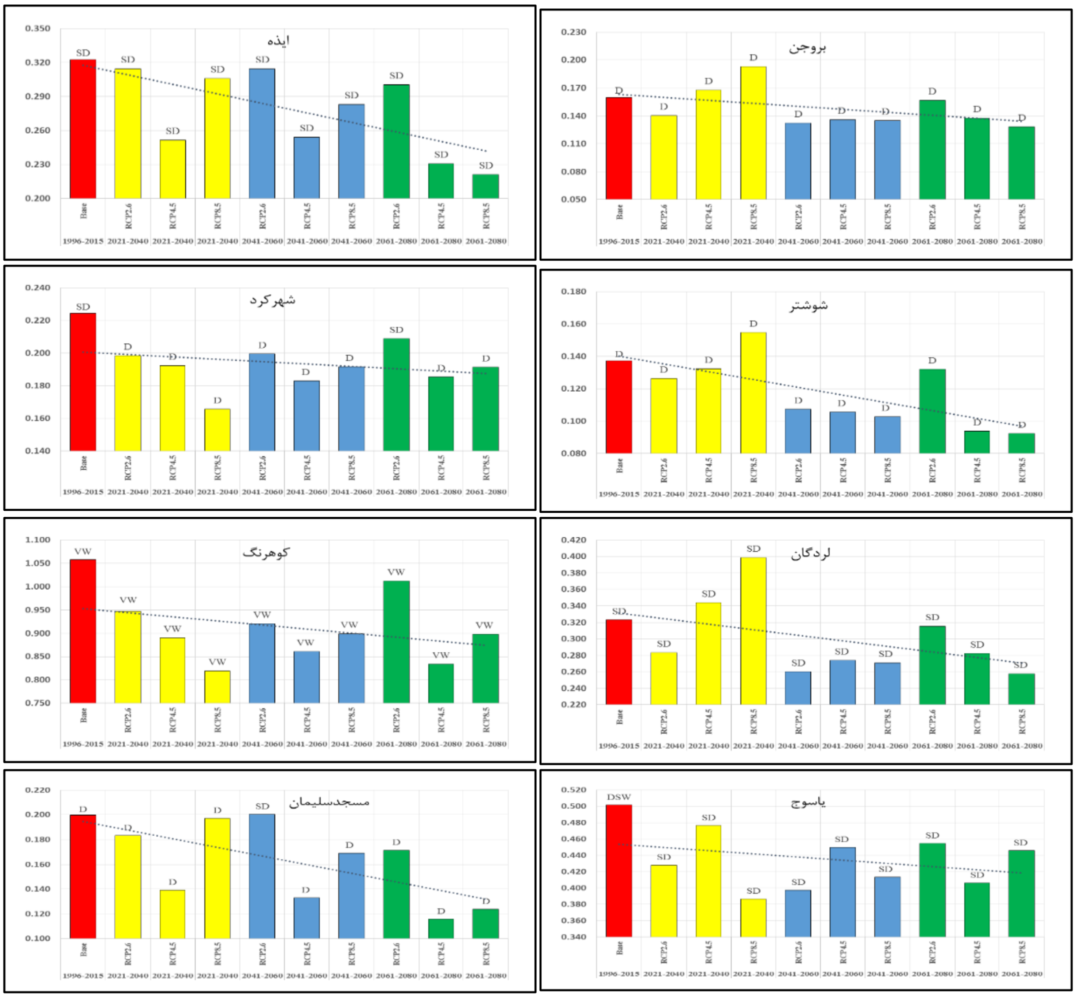
**جدول ۹-طبقه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص یونپ در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹٦)**

| نام ایستگاه هواشناسی | مقادیر بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص یونپ در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹٦) | | | نوع اقلیم | خطر بیابان‌زایی |
|---|---|---|---|---|---|
| | P | ETP | DI | | |
| یاسوج | ۷۳۲/٥ | ۱٤٥۹/٤ | ۰/٥۰۲ | خشک نیمه مرطوب | متوسط |
| لردگان | ٥۱٦/۱ | ۱٥۹٦/۱ | ۰/۳۲۳ | نیمه‌خشک | شدید |
| شهرکرد | ۳۳۱ | ۱٤۷٥/۳ | ۰/۲۲٤ | نیمه‌خشک | شدید |
| بروجن | ۲۱۹/۷ | ۱۳۷۳/٤ | ۰/۱٦۰ | خشک | بسیار شدید |
| کوهرنگ | ۱۳۲٦/۲ | ۱۲٥٤/٥ | ۱/۰٥۷ | مرطوب و بسیار مرطوب | ندارد |
| مسجدسلیمان | ۳٦٥/٥ | ۱۸۲۹/۷ | ۰/۱۹۹ | خشک | بسیار شدید |
| ایذه | ٥٦۹/٦ | ۱۷٦٦/٥ | ۰/۳۲۲ | نیمه‌خشک | شدید |
| شوشتر | ۲٥۸/٤ | ۱۸۸۱/٥ | ۰/۱۳۷ | خشک | بسیار شدید |

### ۳-٥-طبقه‌بندی و پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص یونپ در دوره‌های آتی و تحت سناریوهای انتشار RCPs

شکل ۳، نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز کارون با استفاده از شاخص خشکی یونپ، طی سه دوره ۲۰ ساله (۲۰٤۰-۲۰۲۱، ۲۰٦۰-۲۰٤۱ و ۲۰۸۰-۲۰٦۱) و تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهد. نتایج، بیانگر آن است که براثر تغییرات اقلیمی آینده در همه ایستگاه‌های موردمطالعه، روند کاهش ضریب شاخص یونپ رخ خواهد داد؛ به‌طوری‌که طی هر سه دوره زمانی آینده و تحت هر سه الگوی واداشت تابشی در ایستگاه‌های بروجن و شوشتر، اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید و در ایستگاه‌های ایذه و لردگان، اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید و در ایستگاه کوهرنگ، اقلیم مرطوب و بسیار

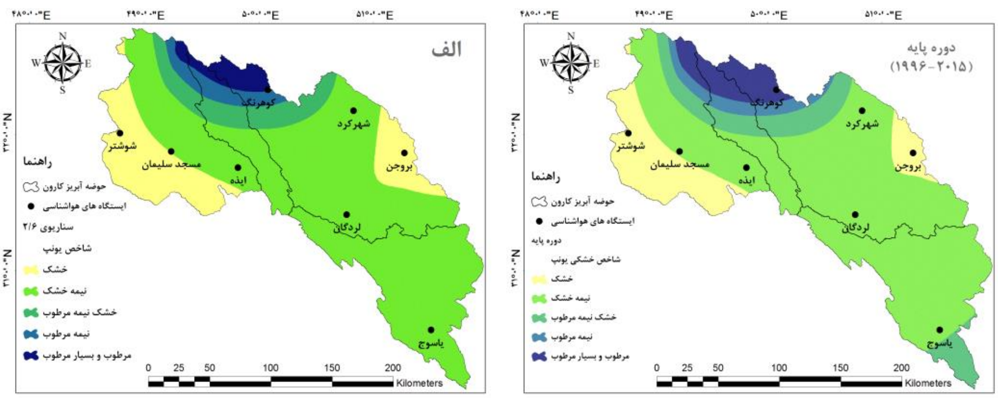
مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) حاکم خواهد شد که نسبت به شرایط اقلیم کنونی تغییر نخواهد کرد؛ اما مقدار شاخص خشکی از زمان حاضر تا دوره‌های آتی، کاهش داشته و دارای روند نزولی می‌باشد. در دوره بیست‌ساله مشاهداتی، ایستگاه شهرکرد که دارای اقلیم SD با خطر بیابان‌زایی شدید هست در همه دوره‌های زمانی آینده (به‌جز آینده دور و تحت سناریو RCP2.6) به اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید تغییر خواهد یافت. ایستگاه یاسوج که در دوره پایه، دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط می‌باشد؛ طی دوره‌های آتی و تحت هر سه سناریوی موردبررسی به اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید تغییر خواهد یافت. در ایستگاه مسجدسلیمان، هم در دوره پایه و هم در دوره‌های آتی، آب‌وهوای خشک (D) مشاهده می‌شود و فقط در دوره آینده میانه و تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6)، اقلیم نیمه‌خشک (SD) حاکم خواهد شد.

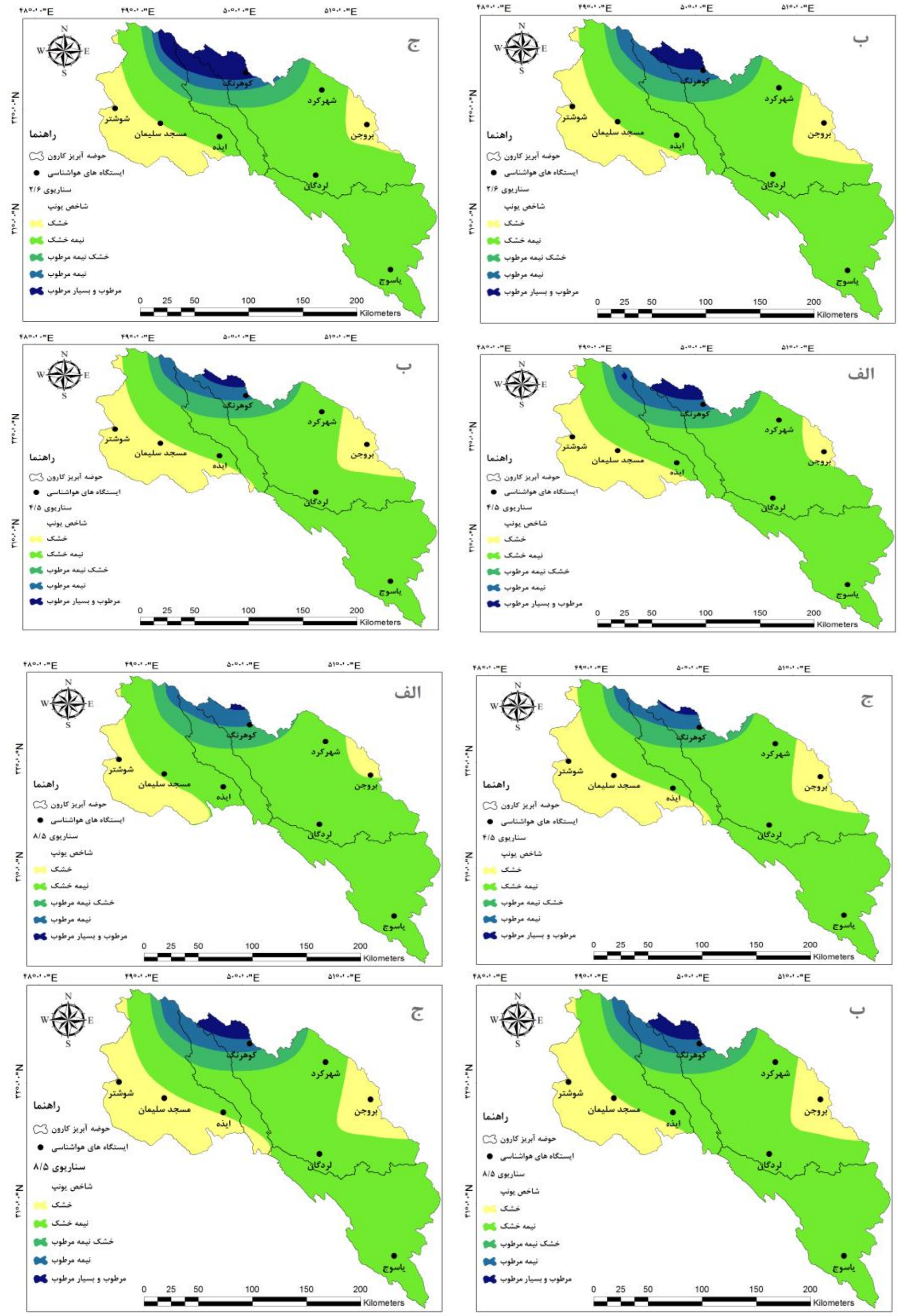



**شکل ۳-نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های موردمطالعه بر اساس شاخص یونپ در دوره پایه و دوره‌های زمانی آینده و تحت سناریوهای انتشار RCPs**

در شکل ٤، پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره مشاهداتی و دوره‌های زمانی آینده و تحت الگوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج حاصله در دوره پایه، قسمت اعظم منطقه موردمطالعه (در حدود ٦۰ درصد) دارای اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید است که بیشتر در مناطق جنوبی و مرکزی حوضه مشاهده می‌شود. قسمت‌های غربی حوضه و بخش کوچکی از شرق حوضه از اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید برخوردار است. محدوده کوچکی از مناطق جنوبی و شمالی حوضه دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط و ناحیه کوهستانی شمال حوضه دارای آب‌وهوای مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیلبان‌زایی) است؛ اما طبق‌یافته‌های تحقیق، در دوره‌های آتی، تغییراتی در مقدار وسعت مناطق دارای اقلیم‌های مذکور حاصل‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مرزهای طبقه‌بندی آب و هوایی بر اساس شاخص یونپ، طی دوره‌های زمانی موردبررسی شاهد جابه‌جایی‌های فراوانی بوده است (جدول ۱۰ و شکل ٤). بر اساس یافته‌های پژوهش، اقلیم خشک با خطر بیابان‌زایی بسیار شدید که با ۱۵/۱ درصد از مساحت سطح حوضه در دوره مشاهداتی، مناطق غربی و بخش کوچکی از شرق منطقه موردمطالعه را پوشش داده است در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 شاهد افزایش ۲/۸ و ۱/۵ درصدی و تحت سناریوی RCP8.5 شاهد کاهش ۰/۹ درصدی بوده است (شکل ٤-الف). در دوره‌های آینده میانه و دور و بر اساس هر سه الگوی واداشت تابشی، مساحت این نوع اقلیم افزایش خواهد یافت. در دوره بیست‌ساله آینده میانه، بیشترین افزایش در مساحت اقلیم خشک، تحت سناریوی حد وسط (RCP4.5) به مقدار ٥/٦ درصد و در دوره آینده دور و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) به میزان ٦/٩ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ٤-ب و ٤-ج). اقلیم نیمه‌خشک با خطر بیابان‌زایی شدید که بیشتر در مناطق مرکزی و جنوبی و بخش کوچکی از مناطق شمالی حوضه گسترش‌یافته است و با ٦۱ درصد، بیشترین مقدار وسعت سطح حوضه در دوره پایه را داشت، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آینده نزدیک، این رقم به ٦٤/٤، ٦٧/٤ و ٧٣/٥ درصد، در دوره آینده میانه، مساحت این نوع اقلیم به ٦٤/٣، ٦٥/٣ و ٦٤/٦ و در دوره آینده دور به ٦۰/٧، ٦٦/٦ و ٦٢/٦ درصد خواهد رسید. درواقع، بیشترین مقدار افزایش مساحت اقلیم نیمه‌خشک در دوره ۲۰ ساله آینده نزدیک و تحت سناریو RCP8.5 به میزان ۱۲/٤ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ٤-الف، ٤-ب و ٤-ج). نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی در دوره‌های زمانی آینده نشان می‌دهد که اقلیم خشک نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی متوسط به‌صورت یک نوار نیم‌دایره‌ای در شمال منطقه موردمطالعه گسترش‌یافته است. در دوره مشاهداتی، در حدود ۱۲/۸ درصد سطح حوضه دارای اقلیم خشک نیمه مرطوب می‌باشد که تحت هر سه الگوی موردبررسی، شاهد کاهش مساحت تحت پوشش این نوع اقلیم خواهیم بود؛ به‌طوری‌که بیشترین کاهش در مساحت اقلیم DSW در دوره آینده دور و تحت سناریو RCP4.5 برابر با ٥/۲ و پس‌ازآن در دوره آینده میانه، تحت همین سناریو و به میزان ٤/٩ درصد رخ خواهد داد (شکل‌های ٤-ب و ٤-

ج). اقلیم نیمه مرطوب با خطر بیابان‌زایی کم با ٤ درصد، کمترین مقدار وسعت سطح حوضه در دوره مشاهداتی را به خود اختصاص داده که به‌صورت یک نوار باریک در شمال منطقه موردمطالعه قابل‌مشاهده است. مساحت این نوع اقلیم در دوره‌های آتی و تحت سناریوهای مختلف انتشار، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. در دوره آینده نزدیک (تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5)، در دوره آینده میانه (تحت هر سه سناریو) و در دوره آینده دور (تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5)، مساحت تحت پوشش اقلیم نیمه مرطوب از ۰/۵ تا ۱/۲ درصد افزایش خواهد داشت؛ اما در دوره آینده نزدیک و بر اساس سناریوی بدبینانه، مساحت این نوع اقلیم به میزان ۰/۳ درصد کاهش و در دوره آینده دور و تحت سناریوی خوش‌بینانه، مساحت آن بدون تغییر خواهد بود (شکل‌های ٤-الف، ٤-ب و ٤-ج). اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به‌صورت یک ناحیه کوچک در منتهی‌الیه شمال حوضه آبریز کارون گسترش‌یافته است. در دوره بیست‌ساله پایه، تقریباً ۷ درصد منطقه موردمطالعه دارای اقلیم VW با شرایط آب و هوایی مرطوب و بسیار مرطوب است که در هر سه دوره آتی و بر اساس هر سه سناریوی موردبررسی، شاهد کاهش وسعت تحت پوشش این نوع اقلیم خواهیم بود؛ به‌طوری‌که بیشترین کاهش در مساحت این نوع اقلیم، در دوره آینده نزدیک (تحت سناریو RCP8.5) برابر با ٦/٨ درصد، در دوره آینده میانه (تحت سناریو RCP4.5) به مقدار ۵/۹ درصد و در دوره آینده دور (تحت سناریو RCP4.5) به میزان ٦/٣ درصد به وقوع خواهد پیوست (شکل‌های ٤-الف، ٤-ب و ٤-ج).






**شکل ٤-پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره آینده نزدیک (الف)، آینده میانه (ب)، آینده دور (ج) و تحت سناریوهای انتشار RCPs**

**جدول ۱۰-مساحت و درصد پهنه‌های اقلیمی حوضه آبریز کارون بر اساس شاخص خشکی یونپ در دوره پایه و دوره‌های زمانی آینده و تحت سناریوهای انتشار RCPs**

| نوع اقلیم | | | خشک (D) | نیمه‌خشک (SD) | خشک نیمه مرطوب (DSW) | نیمه مرطوب (SW) | مرطوب و بسیار مرطوب (VW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خطر بیابان‌زایی | | | بسیار شدید | شدید | متوسط | کم | ندارد |
| مقدار شاخص خشکی | دوره پایه | مساحت (کیلومترمربع) | ۵۷۶۱ | ۲۳۲۵۳ | ۴۸۹۰ | ۱۵۴۲ | ۲۶۵۸ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۵/۱ | ۶۱ | ۱۲/۸ | ۴ | ۷ |
| مقدار شاخص خشکی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) | RCP2.6 | مساحت (کیلومترمربع) | ۶۸۲۸ | ۲۴۵۲۰ | ۳۶۸۷ | ۱۷۱۷ | ۱۳۵۲ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۷/۹ | ۶۴/۴ | ۹/۷ | ۴/۵ | ۳/۵ |
| | RCP4.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۶۳۳۹ | ۲۵۶۷۸ | ۳۱۸۲ | ۲۱۰۲ | ۸۰۳ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۶/۶ | ۶۷/۴ | ۸/۴ | ۵/۵ | ۲/۱ |
| | RCP8.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۵۴۱۲ | ۲۷۹۹۶ | ۳۱۷۵ | ۱۴۲۹ | ۹۲ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۴/۲ | ۷۳/۵ | ۸/۳ | ۳/۸ | ۰/۲ |
| مقدار شاخص خشکی آینده میانه (۲۰۴۱-۲۰۶۰) | RCP2.6 | مساحت (کیلومترمربع) | ۷۳۵۸ | ۲۴۴۹۵ | ۳۴۱۲ | ۱۹۹۸ | ۸۴۱ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۹/۳ | ۶۴/۳ | ۹ | ۵/۲ | ۲/۲ |
| | RCP4.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۷۸۷۶ | ۲۴۸۸۰ | ۳۰۰۷ | ۱۹۲۵ | ۴۱۶ |
| | | مساحت (درصد) | ۲۰/۷ | ۶۵/۳ | ۷/۹ | ۵/۱ | ۱/۱ |
| | RCP8.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۷۴۸۵ | ۲۴۶۰۰ | ۳۳۱۴ | ۱۹۱۰ | ۷۹۵ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۹/۶ | ۶۴/۶ | ۸/۷ | ۵ | ۲/۱ |
| مقدار شاخص خشکی آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) | RCP2.6 | مساحت (کیلومترمربع) | ۶۳۱۸ | ۲۳۱۴۵ | ۴۶۲۰ | ۱۵۴۵ | ۲۴۷۶ |
| | | مساحت (درصد) | ۱۶/۶ | ۶۰/۷ | ۱۲/۱ | ۴/۱ | ۶/۵ |
| | RCP4.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۷۶۹۰ | ۲۵۳۸۴ | ۲۸۹۱ | ۱۸۸۷ | ۲۵۲ |
| | | مساحت (درصد) | ۲۰/۲ | ۶۶/۶ | ۷/۶ | ۵ | ۰/۷ |
| | RCP8.5 | مساحت (کیلومترمربع) | ۸۳۸۱ | ۲۳۸۴۰ | ۳۱۲۰ | ۱۹۷۸ | ۷۸۵ |
| | | مساحت (درصد) | ۲۲ | ۶۲/۶ | ۸/۲ | ۵/۲ | ۲/۱ |

## ۴-جمع‌بندی

در این مطالعه، پهنه‌های اقلیمی و خطر بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون تحت شرایط تغییر اقلیم آینده با استفاده از شاخص خشکی UNEP پیش‌بینی گردید. بر اساس نتایج حاصل از آزمون مَن-کندال، مشخص گردید که در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) و در سطح حوضه آبریز کارون، روند تغییرات سالانه دمای حداقل، افزایشی غیر معنی‌دار می‌باشد؛ درحالی‌که دمای حداکثر و تبخیر و تعرق دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است. همچنین روند تغییرات سالانه بارش کاهشی است اما این روند کاهشی، معنی‌دار نمی‌باشد. مطابق یافته‌های تحقیق در هر سه دوره

آتی و بر اساس سناریوهای انتشار RCPs، متوسط بلندمدت بارش سالانه بین ۱/۹ تا ۱٤/٦ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد اما متوسط سالانه دمای حداقل بین ۱/۲ تا ۳/٤ درجه سلسیوس، دمای حداکثر بین ۱/۳ تا ۳/۷ درجه سلسیوس و میانگین سالانه تبخیر و تعرق بین ٤/۷ تا ۱۲/۳ درصد نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. در دوره‌های آتی و بر اساس سناریوهای موردمطالعه، وسعت اقلیم خشک (خطر بیابان‌زایی بسیار شدید) و اقلیم نیمه‌خشک (خطر بیابان‌زایی شدید) به ترتیب ۳/۵ و ٤/٤ درصد افزایش و مساحت اقلیم خشک نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی متوسط) و اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب (بدون خطر بیابان‌زایی) به ترتیب ٤ و ٤/۷ درصد کاهش خواهد یافت؛ اما قلمرو آب و هوایی نیمه مرطوب (خطر بیابان‌زایی کم) با ۰/۸+ درصد، تغییرات ناچیزی خواهد داشت. گستره اقلیم نیمه‌خشک در دوره آینده نزدیک و تحت سناریوی بدبینانه، با ۱۲/٤ درصد افزایش به بیشترین سطح ممکن در بین سناریوهای انتشار خواهد رسید؛ لذا این جابه‌جایی در مرزهای طبقه‌بندی اقلیمی، باعث تشدید روند بیابان‌زایی حوضه آبریز کارون در دوره‌های آتی خواهد شد.

نتایج این تحقیق با مطالعات پورمحمدی و ملکی نژاد (۱۳۹۲) در ایران، طائی سیمری و همکارانش (۱۳۹٤) در حوضه آبخیز نیشابور، طاووسی (۱۳۹۷) در غرب و شمال غرب ایران، بذرافشان دریاسری و همکاران (۱۳۹٤) در استان گلستان، محمدلو و طهماسبی پور (۱۳۹٦) در شمال غرب ایران، میرموسوی و کیانی (۱۳۹٦) و رضئیی (۱۳۹٦) در سطح ایران و شکیبا و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان مطابقت دارد. پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی انکارنلپذیر که برای دوره‌های زمانی آینده پیش‌بینی‌شده، موجب تغییر پهنه‌های اقلیمی و به‌تبع آن خطرات بیابان‌زایی در منطقه موردمطالعه گردیده است. اگر این تغییرات آب و هوایی با دیگر عوامل تشدیدکننده بیابان‌زایی مثل چرای بی‌رویه، جنگل‌زدایی، افت منابع آب زیرزمینی، فرسایش آبی و غیره همراه باشد، می‌تواند در تشدید تخریب سرزمین این منطقه مؤثر باشد؛ بنابراین ضرورت دارد هرگونه تغییر در اقلیم آینده به‌عنوان اولین زنجیره تأثیرگذار در تغییر قلمروهای آب و هوایی و فرآیندهای بیابان‌زایی موردتوجه قرار گیرد.

## کتاب‌نامه

آقاشاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک سخن، محمدحسین؛ طهماسبی، بهشته؛ ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به‌منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران. https://civilica.com/doc/170203

بذرافشان دریاسری، مهرناز؛ مفتاح هلقی، مهدی؛ قربانی، خلیل؛ قهرمان، نوذر؛ ۱۳۹٤. مطالعه تطبیقی پهنه‌های اقلیمی استان گلستان تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*، ۲۲ (۵)، ۱۸۷-۲۰۲. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2872.html

پورمحمدی، سمانه؛ ملکی نژاد، حسین؛ ۱۳۹۲. طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی کشور ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از تکنیک گشتاور خطی. *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*، ٤ (٨)، ٧٦-٥٨. http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-317-fa.html

رضیئی، طیب؛ ۱۳۹٦. چشم‌اندازی از مناطق اقلیمی ایران به روش کوپن-کایگر در سده بیست و یکم. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱ (۱)، ۸٤-۱۰۰. http://www.ijgeophysics.ir/article_46717.html

شجاع، فائزه؛ طاووسی، تقی؛ عسگری، الهه؛ ۱۳۹۸. بازنگری پهنه‌های اقلیمی شمال شرق ایران بر پایهٔ کاربرد تلفیقی تغییر شاخص خشکی. *مجله مدیریت بیابان*، ۷ (۱۳)، ۱۳٤-۱۱۷. https://doi.org/10.22034/JDMAL.2019.36538

شکیبا، علیرضا؛ رائینی سرجاز، محمود؛ متکان، علی‌اکبر؛ رحیمی، محمد؛ ۱۳۹۹. تحلیل پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان بر اساس طرح طبقه‌بندی کوپن-تراورتا با رویکرد تغییر اقلیم. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ٤۰ (٤۰)، ۱۱-۱. http://clima.irimo.ir/article_113828.html

طاووسی، تقی؛ ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات بارندگی و شاخص خشکی یونپ در پهنه‌های آب و هوایی غرب و شمال غرب ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷ (۱۰۵)، ۹٦-۸۵. http://www.sepehr.org/article_31475.html

طاووسی، تقی؛ دل‌آرا، قدیر؛ ۱۳۸۹. پهنه‌بندی آب و هوایی استان اردبیل. *مجله علمی و فنی نیوار*، ۳٤ (۷۱-۷۰)، ٥۲-٤۷. http://nivar.irimo.ir/article_13228.html

طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ ۱۳۹٤. پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۷ (۲). ۱٥٦-۱٤٥. https://jwem.areeo.ac.ir/article_101258.html

علیزاده، امین؛ ۱۳۸۷. *هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

فاخر نسب، احمد؛ علیجانی، بهلول؛ اسدیان، فریده؛ ۱۳۹۹. آشکارسازی تغییرات دمای هوا و بارش در استان کهکیلویه و بویراحمد تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل MIROC5. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۳ (٥۰)، ۳٥-۱٥. http://jopg.iaularestan.ac.ir/article_679718.html

کارآموز، محمد؛ عراقی نژاد، شهاب ۱۳۹۳. *هیدرولوژی پیشرفته*. انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران.

گل کار حمزیی یزد، حمیدرضا؛ رضایی نژاد، محمد و طاووسی، مجتبی؛ ۱۳۹٥. پهنه بندی اقلیمی استان خراسان جنوبی با نرم افزار GIS. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ٦(۱)، ٥۹-٤۷. https://wsrcj.srbiau.ac.ir/article_9463.html

محمدلو، محمد؛ طهماسبی پور، ناصر؛ ۱۳۹٦. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طبقه بندی‌های اقلیمی در قسمت‌هایی از شمال غرب ایران. *مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ٥ (٤)، ٤٦-۳٥. http://jircsa.ir/article-1-285-fa.html

میرموسوی، سید حسین؛ کیانی، حدیث؛ ۱۳۹٦. بررسی طبقه‌بندی اقلیمی کوپن در ایران در سال ۱۹۷۵ و مقایسه آن با خروجی مدلMIROC برای سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ و ۲۱۰۰ تحت سناریوی A1B و A2 (با تأکید بر مسئله تغییر اقلیم). *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲ (۲۲)، ۷۲–۵۹.
https://doi.org/10.22067/GEO.V6I2.57155

هدایتی دزفولی، اکرم؛ کاکاوند، رضا؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. *مجله علمی و فنی نیوار*، ۳٦ (۷۷–۷٦)، ٦٦–۵۹. http://nivar.irimo.ir/article_13201.html

Bailey, Robert G., 1999. USDA Forest Service, Inventory & Monitoring Institute, Ecological Climate Classification.

Chan, D., Wu, Q., Jiang, G., and Dai, X., 2016. Projected Shifts in Köppen Climate Zones over China and Their Temporal Evolution in CMIP5 Multi-Model Simulations: Advances in Atmospheric Sciences, 33, 283- 293. https://doi.org/10.1007/s00376-015-5077-8

Chen, D., and Chen, H. W., 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010, Environmental Development, 6, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007

De Castro, M., Gallardo, C., Jylha, K., and Tuomenvirta, H., 2007. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models: Climatic Change, 81, 329–341. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9224-1

Engelbrecht, C. J, and Engelbrecht, F. A., 2016. Shifts in Köppen-Geiger climate zones over southern Africa in relation to key global temperature goals: Theoretical and Applied Climatology ,123, 247-261. https://doi.org/ 10.1007/s00704-014-1354-1

Gocic, M., and Trajkovic, S., 2013. Analysis Mann-Kendall and of changes in meteorological variables usin Sen's slope estimator statistical tests in Serbia, Global and Planetary Change 100, 172–182. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014

Hargreaves,G.H. and Samani, Z., 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air tempraturer. Meeting American Society of Agricultural Engineers, Chicago. Applied Engineering in Agriculture. 1(2): 96-99. http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773

Hourdin F, Musat I, Bony S, Braconnot P, Codron F, Dufresne J.L, Krinner G., 2006. The LMDZ4 general circulation model: climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. Climate Dynamics, 27 (8): 787-813. https://doi.org/10.1007/s00382-006-0158-0

Kharin V.V Zwiers F.W Zhang X, Wehner M., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. Climatic Change, 119 (2):345-357. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0705-8

Oliveria Aparecido, L. E., Souza Rolim, G., Richetti, J., Souza, P. S. & Johann, J.A., 2016. Koppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Parana, Brazil, Ciencia e Agrotecnologia 40(4):405-417. https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916

Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification: Hydrology and Earth System Sciences, 4, 439–473. https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007

Racsko, P. Szeidl, L. Semenov, MA., 1991. Serial approach to local stochastic weather models. Ecol Model, 57: 27–41. https://doi.org/10.1016/0304-3800(91)90053-4

Rubel, F., and Kottek, M., 2010. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Koppen- Geiger climate classification: Meteorologische Zeitschrift, 19, 135–141. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. and Amnell, T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the Excel template application MAKESENS, Finnish Meteorological Institut. https://doi.org/10.4236/jmp.2012.38101

Semenov, MA. and Barrow, EM., 1997. Use ofa stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic Change, 35, 397-414. https://doi.org/10.4236/jmf.2016.62024

Wang, M., and Overland, J. E., 2004. Detecting Arctic climate change using Köppen climate classification: Climatic Change, 67, 43-62. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007

Ying, S., Xue-Jie, G., and Jia, W., 2012. Projected Changes in Köppen Climate Types in the 21st Century over China: Atmospheric and Oceanic Science Letters. 5 (6):495-498. https://doi.org/10.1080/16742834.2012.11447043

Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D. and Niitsoo, A., 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. Atmosphere – Ocean, 38(3): 395-429. https://doi.org/10.1080/07055900.2000.9649654